

Второй метод решения основан на концепции обратных задач динамики и базируется на использовании кинематических моделей вращения, развиваемых на кафедре систем и процессов управления. В отличие от первого метода решается задача приведения КЛА в конечное состояние с произвольно заданной конечной угловой скоростью за фиксированное время. Использованный подход является новым и обеспечивает высокую точность выполнения терминальных условий маневра.

Третий метод представляет собой решение задачи оптимальной по энергозатратам переориентации КЛА на основе принципа максимума Понтрягина. После сведения задачи управления к краевой, далее реализовано численное ее решение. Рассмотрена также возможность решения задачи с использованием линеаризации относительно программной траектории переориентации, построенной с помощью второго метода. Достоинством метода является то, что с его помощью получается наилучшее с точки зрения введенного функционала решение задачи переориентации.

Выводы. Таким образом, разработаны и программно реализованы различные алгоритмы переориентации КЛА, промоделирована их работа, визуализирован процесс управляемого вращения КЛА, получены оценки эффективности алгоритмов и проведено их сравнение. Выработаны практические рекомендации по использованию алгоритмов. Сформулировано дальнейшее направление исследований, связанное с адаптацией алгоритмов управления к условиям существенно упругого КЛА.

Хабюк А. С. Успенский В. Б.
НТУ «ХПИ»

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КАЛИБРОВКИ АКСЕЛЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ

В настоящее время для измерения параметров движения используются, как правило, гироскопы и акселерометры, но, в связи с развитием МЭМС-технологий, всё более широкое применение находят акселерометрические измерительные модули, построенные на недорогих датчиках низкого и среднего класса точности, например, микромеханических акселерометрах. В частности, подобные модули позволяют получить оценку не только вектора линейного, но и вектора углового ускоре-

ния связанной с объектом системы координат. Однако эффективность такой оценки зависит от того, насколько точно известно расположение акселерометров внутри модуля, включая ориентацию их осей чувствительности, поскольку технология сборки инерциальных модулей на микромеханических датчиках не позволяет обеспечить желаемое направление осей чувствительности акселерометра точнее 1^0 .

В данной работе рассматривается задача определения в лабораторных условиях систематических ошибок акселерометрического измерительного модуля с целью их дальнейшей алгоритмической компенсации или, другими словами, задача калибровки. В большинстве случаев решение подобных задач сводится к определению смещения нуля и масштабных коэффициентов акселерометра. Реже рассматриваются вопросы определения параметров несоосности измерительных и базовых осей модуля. Однако задача определения местоположения акселерометра в модуле, актуальность которой вытекает из специфики использования акселерометрических измерительных модулей, остаётся не решённой.

Задача калибровки решается для каждого акселерометра в отдельности, учитывая то, что фактическое расположение акселерометра в базовой системе координат отличается от номинального на неизвестную величину $\overline{\delta\rho}$, следовательно, фактический радиус-вектор определяется следующим образом: $\overline{\rho^*} = \overline{\rho} + \overline{\delta\rho}$. Вектор, определяющий фактическое направление оси чувствительности
 $\overline{e^*} = (\sin(\lambda + \delta\lambda) \cdot \cos(\mu + \delta\mu); \cos(\lambda + \delta\lambda); \sin(\lambda + \delta\lambda) \cdot \sin(\mu + \delta\mu))$
 также отличен от номинального. Таким образом, фактическое измерение акселерометра в момент времени t_k может быть выражен следующей формулой:

$$A_k^* = \mathbb{I}(\overline{W} \mathbf{1}_{0_k} \cdot \overline{e^*}) + ([\dot{\overline{\omega}}_k \times \overline{\rho^*}], \overline{e^*}) + (\overline{\omega}_k, \overline{e^*})(\overline{\omega}_k, \overline{\rho^*}) - (\overline{\rho^*}, \overline{e^*})\omega_k^2 + \xi_k + \Delta a,$$

где \overline{W}_{0_k} , $\overline{\omega}_k$, $\dot{\overline{\omega}}_k$ – соответственно эталонные ускорение, угловая скорость и локальная производная угловой скорости в момент времени t_k ,

ξ_k – случайная ошибка с нулевым средним,

Δa – систематическая ошибка акселерометра.

Таким образом, задача калибровки акселерометра сводится к определению смещения нуля Δa и погрешности установки акселерометра в модуле $\overline{\delta\rho}$, $\delta\lambda$, $\delta\mu$. Истинные значения линейного ускорения, век-

тора угловой скорости и вектора углового ускорения в каждый дискретный момент времени считаются известными.

В результате реализации метода калибровки были получены зависимости оценок искомых параметров от времени накопления данных для каждого акселерометра независимо. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что погрешность калибровки акселерометра в рассматриваемых условиях не превышает 10^{-5} м по каждой компоненте радиус-вектора положения акселерометра, параметры несоосности измерительных осей и осей базовой системы координат определены с точностью до 2 угловых секунд, погрешность смещения нуля – не более 10^{-6} .

Ягудин Д. С., Назаренко С. А.
НТУ «ХПИ»

НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ ХПИ В ОБЛАСТИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Ракетно-космическая техника – это квинтэссенция достижений научно-технического прогресса в стране. Лишь шесть держав в мире, одна из которых Украина, способны изготовить космическую ракету. Многие поколения выдающихся ученых, педагогов и воспитанников ХПИ участвовали в формировании и развитии исследований, обеспечивших Украине высокий уровень ракетно-космической науки и техники.

Теоретическую и практическую базу исследования аэронавтики в Украине получили в связи с появлением Харьковского практического технологического института (ХПТИ). Его первый директор В.Л. Кирпичев был правителем дел первого в стране официального органа по воздухоплаванию.

Выпускник и преподаватель ХПТИ И. И. Бобарыков стал заслуженным деятелем науки СССР, был учителем основоположника практической космонавтики С. П. Королева. Профессор ХТИ Н. Д. Пильчиков был автором изобретения стратостата с герметической кабиной.

Выпускник ХТИ Г. А. Ботезат в Сорбонне защитил первую в области авиации докторскую диссертацию по исследованию устойчивости аэроплана, преподавал в Массачусетском технологическом институте.